

УДК 553: 622.271.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ИЗОЛИРОВАННОМ  
ПРОСТРАНСТВЕ ДРАЖНОГО РАЗРЕЗА****Кисляков В.Е., Нафиков Р.З., Вокин В.Н., Бахтигузин А.А.***ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: Ravik\_177@mail.ru*

Рассмотрена проблема снижения производительности драг при работе в условиях отрицательных температур, которая особенно актуальна для месторождений, расположенных в условиях Крайнего Севера, где добычной сезон ограничен климатическими условиями. Показаны существующие способы продления дражного сезона, а также предложен способ изолирования дражного разреза современными искусственными материалами. Проведен опыт для подтверждения эффективности данного способа путем создания экспериментальной установки. В качестве изолирующего материала выбран поликарбонат, обладающий рядом достоинств. Получена математическая модель, позволяющая определить температуру внутри изолированного пространства дражного разреза в зависимости от температуры воды разреза и окружающего воздуха. Доказано, что применение предлагаемого способа позволит продлить добычной сезон. Также представлено распределение тепловых полей в изолированном пространстве дражного разреза.

**Ключевые слова:** россыпное месторождение, драга, производительность, добычной сезон, зимний период, изолирующая конструкция

**STUDY OF HEAT EXCHANGE IN ISOLATED SPACE OF DREDGE OPEN CUT****Kislyakov V.E., Nafikov R.Z., Vokin V.N., Bakhtiguzin A.A.***Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: Ravik\_177@mail.ru*

The problem of decrease in productivity of dredges at work in the conditions of negative temperatures which is especially actual for the deposits located in the conditions of the Far North where the mining season is limited by climatic conditions is considered. The existing ways of prolonging the dredging season are shown, and a method for isolating the dredge open cut with modern artificial materials is proposed. An experiment was conducted to confirm the effectiveness of this method by creating an experimental setup. As the insulating material selected polycarbonate, which has a number of advantages. A mathematical model is obtained that allows to determine the temperature inside the isolated space of the dredge open cut as a function of the water temperature of the section and the surrounding air. It is proved that the application of the proposed method will allow to prolong the mining season. The distribution of thermal fields in the isolated space of the dredge open cut is also presented.

**Keywords:** placer deposit, dredge, productivity, mining season, winter period, insulating structure

На сегодняшний день Россия занимает лидирующую позицию по золотодобыче [1]. При этом значительная доля добычи золота приходится на россыпные месторождения (рис. 1). Условия залегания россыпей позволяют эффективно разрабатывать их с применением относительно простой технологии. При разработке россыпей высокие технико-экономические показатели имеет дражный способ разработки. Данный способ обладает рядом достоинств, таких как возможность реализации в сложных гидрогеологических условиях, высокая производительность, минимальная себестоимость и др.

Больше половины россыпных месторождений России, обрабатываемых дражным способом, находятся в неблагоприятных климатических условиях на территории Сибири и Дальнего Востока. В период отрицательной температуры эксплуатационные затраты резко увеличиваются, а производительность драги падает, что существенно ограничивает добычной сезон, который может составить всего 160–180 дней.

Продление дражного сезона не всегда позволяет достичь необходимого экономического эффекта. В большинстве случаев отказываются от продления сезона без максимально достоверных технико-экономических обоснований. В связи с этим сдерживается интенсивное освоение обводнённых месторождений, расположенных в районах Крайнего Севера. Поэтому проблема продления дражного сезона, с целью повышения эффективности использования дражного оборудования в течение года является актуальной.

В связи с этим на сегодняшний день существует целый ряд способов, позволяющих продлить добычной сезон [2–5]. Одним из них является установка пропеллерных насосов на конструкцию драги, обеспечивающих вертикальную циркуляцию воды от дна водоема к поверхности. Также применяется химический способ посыпкой альгинатом натрия и стеаратом цинка водных акваторий, удалось поддерживать их в незамерзающем состоянии в течение зимнего периода. Данные вещества способствуют

созданию на поверхности акваторий мягкого губчатого снега вместо ледяного покрова. Для более эффективной оттайки льда в качестве реагентов применяют хлорид кальция, натрия, аммония, калия, а также сульфид натрия, фторид натрия и бикарбонат калия. Способ поддержания незамерзающих водных акваторий с помощью горячей воды или пара, отбираемых от котельных установок драг, также находит применение при дражных работах в зимний период. Известно применение плавающих пен. В результате изолирования водной поверхности дражного разреза от воздействия отрицательной температуры воздуха окружающей среды предотвращается образование льда. К механическим способам относится разрушение льда ледорезными машинами, паровыми, водяными или электрическими тепловыми резаками. Также к механическим способам можно отнести ручную резку льда. Данный способ в большинстве случаев носит вспомогательный характер. Обычно применение ручных работ связано с уборкой наледей на черпаковой раме, свайном аппарате или других узлах драги. В некоторых случаях применяют комбинированные способы. Однако практика показывает, что все вышеперечисленные способы не получили широкого применения из-за высоких экономических и энергетических затрат, трудоемкости работ и экологического ущерба окружающей среде.

Наиболее перспективным способом продления добычного сезона является изолирование дражного забоя от воздействия отрицательных температур [6–7]. Данный способ имеет ряд преимуществ, таких как возможность бесперебойной работы при наступлении устойчивых отрицательных температур, отсутствие необходимости ежегодных капиталовложений в создание конструкции, простота эксплуатации, снижение простоев в зимний период на ремонтные работы. Так как этот способ не применялся на предприятиях, то был проведен эксперимент для подтверждения эффективности изолирования дражного разреза. Для этого выполнена установка в виде ангара, схема которой приведена на рис. 2.

Установка выполнена для драги 250Д в масштабе 1:100 и имеет следующие размеры: высота – 270 мм, ширина – 520 мм и длина – 1250 мм. Стенки ангара изготовлены из сотового поликарбоната. Поликарбонат выбран в качестве изолирующего материала благодаря ряду преимуществ перед аналогичными материалами (стекло,

полиметилметакрилат и др.). К достоинствам поликарбоната можно отнести малый удельный вес, низкую теплопроводность, устойчивость к резким температурным перепадам, долговечность, высокую светопропускную способность. Толщина выбранного для эксперимента поликарбоната составила 3,5 мм, а коэффициент светопропускания 0,92. Ангар устанавливается на твердое основание, и все зазоры герметизируются таким образом, чтобы исключить свободную циркуляцию воздуха из установки. С торцевой части выполняется отверстие для установки инфракрасной камеры модели IR928+. Камера предназначена для съемки данных движения и распределения температурных полей, с помощью которых возможно определить среднюю температуру внутри изолированного пространства. Температурный диапазон измерения камеры составляет от –20 до 500 °С с погрешностью 2 °С.

В центральной части ангара устанавливают экран из фольги для съемки распределения тепловых полей. Экран устанавливают над водой посередине ангара, причем таким образом, чтобы его нижняя часть не соприкасалась с установкой, в результате чего сохраняется свободная циркуляция потоков воздуха внутри установки. В емкость с водой, а также снаружи ангара устанавливают термодатчики, позволяющие производить замеры температуры как воды, так и воздуха.

Эксперимент проводили в три этапа: при температуре окружающего воздуха –7, –5, –3 °С. В ходе каждого этапа в изолированное пространство устанавливают емкость с водой. Начальная температура воды, при которой происходит съемка тепловых полей в ангаре, принята 20 °С. Далее съемку производят, когда температура воды составит 18, 16, 14 и 12 °С.

Для визуализации снимков инфракрасной камеры использовалось программное обеспечение GuideIr Analyser. Распределение температурных полей в экспериментальной установке представлены на рис. 3.

Для определения средней температуры в изолированном пространстве снимки распределения тепловых полей в программной среде Guide IrAnalyser разбивают изотермами, ограничивающими поля с одинаковой температурой (рис. 4).

Количество участков определялось из максимального перепада температур в изолированном пространстве. Так, для снимков с перепадами температур в 18 °С было вы-

делено 6–7 тепловых участков, а для снимков с перепадами в 5 °С это значение снижалось до 3–4.

Далее снимки с нанесенными на них изотермами экспортируют в программную среду AutoCAD. С помощью данного программного обеспечения тепловые снимки оцифровывали и определяли площади температурных полей. Тепловые поля, расположенные за пределами ангара, не

учитывались. По полученным данным рассчитывали средневзвешенную температуру воздуха внутри ангара по формуле

$$T_a = \frac{T_i \cdot S_i + \dots + T_n \cdot S_n}{\sum_{i=1}^n S}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

где  $T_i$  – температура  $i$ -го теплового поля, °С;  $S_i$  – площадь  $i$ -го теплового участка, см<sup>2</sup>.



Рис. 1. Объем добычи золота в России в 2009–2015 гг.

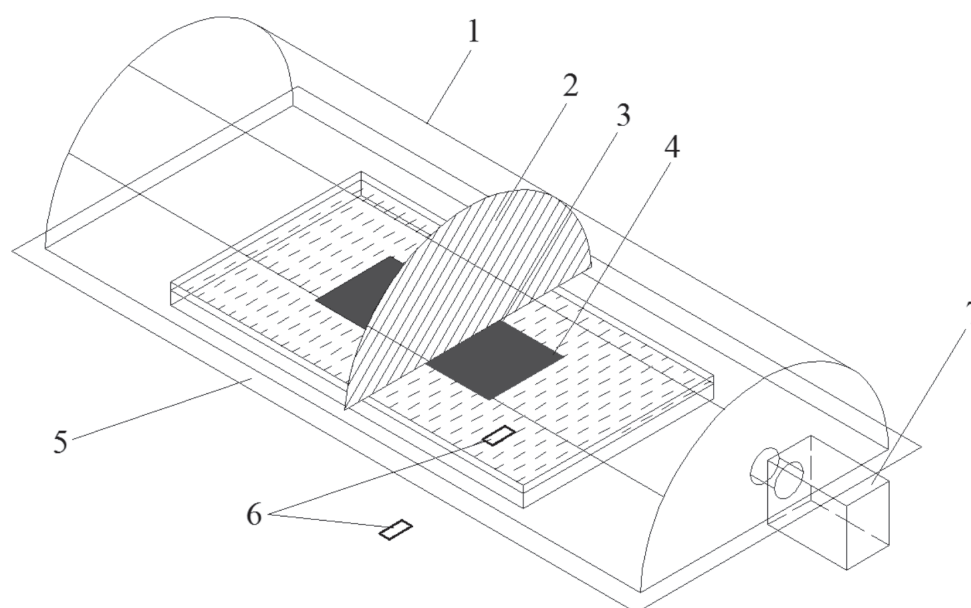


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 – ангар; 2 – экран из фольги; 3 – модель драги; 4 – емкость с водой; 5 – основание; 6 – термодатчики; 7 – инфракрасная камера

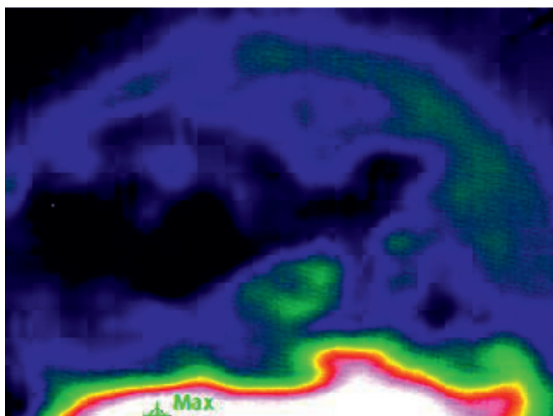


Рис. 3. Пример распределения температурных полей в изолированном пространстве

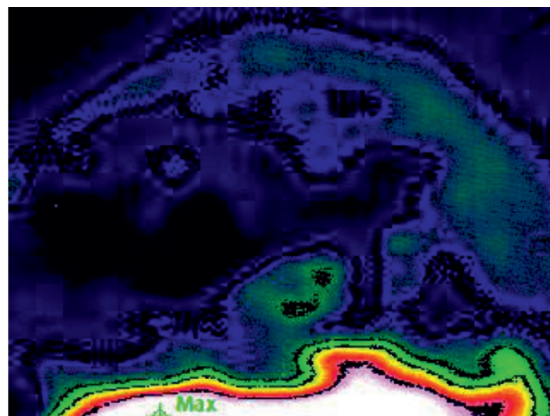


Рис. 4. Тепловые поля, разделенные изотермами

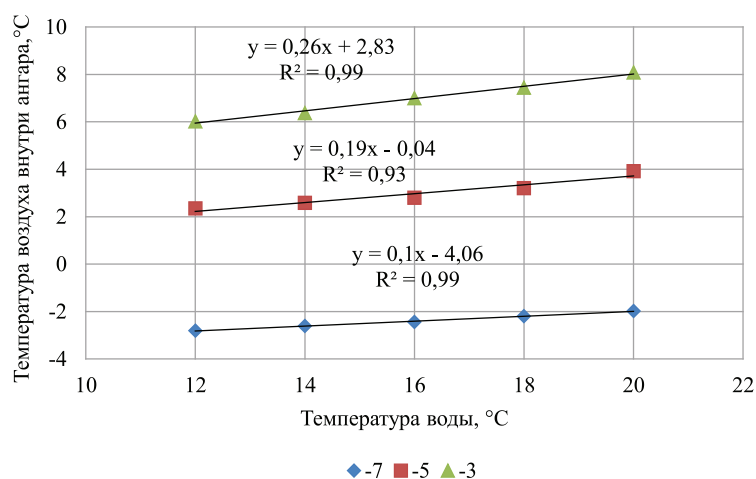


Рис. 5. Зависимость температуры воздуха в ангаре от температуры воды и окружающего воздуха

Результаты расчета средней температуры воздуха в изолированном пространстве дражного разреза в зависимости от температуры воды и температуры окружающего воздуха представлены в таблице.

Средняя температура воздуха  
в изолированном пространстве

| №<br>п/п | $T_{\text{вод}}$ | -7    | -5   | -3   |
|----------|------------------|-------|------|------|
| 1        | +20              | -1,98 | 3,92 | 8,08 |
| 2        | +18              | -2,2  | 3,2  | 7,44 |
| 3        | +16              | -2,44 | 2,8  | 7    |
| 4        | +14              | -2,61 | 2,58 | 6,37 |
| 5        | +12              | -2,81 | 2,35 | 6,02 |

По полученным данным строится график зависимости температуры воздуха в ан-

гаре от температуры воды и от температуры окружающего воздуха (рис. 5).

Полученные уравнения (рис. 5) имеют линейный вид:

$$T_a = a \cdot T_{\text{вод}} + b, ^\circ\text{C}, \quad (2)$$

где  $T_{\text{вод}}$  – температура воды, °C;  $a$  и  $b$  – эмпирические коэффициенты.

По полученным зависимостям методом множественной корреляции была получена математическая модель, позволяющая, с погрешностью до 10%, определить температуру воздуха внутри ангара в зависимости от температуры воды и окружающего воздуха:

$$T_a = (0,04 \cdot T_{\text{вод}} + 0,38) \cdot T_{\text{вод}} + (1,72 \cdot T_{\text{вод}} + 8,19), ^\circ\text{C}, \quad (3)$$

где  $T_{\text{вод}}$  – температура окружающего воздуха, °C.

В результате проведенного эксперимента было установлено, что температура внутри ангара значительно выше температуры окружающего воздуха, что позволяет продлить добычный сезон. Так, например, при использовании данной технологии на россыпных месторождениях, расположенных на  $63^{\circ}$  с.ш., добычный сезон увеличится от 180 дней до 240. В случае с отрабатываемыми месторождениями, расположенными ниже  $59^{\circ}$  с. ш., их отработку возможно производить круглогодично за счет поддержания забоя в незамерзающем состоянии.

Также были визуализированы движения температурных полей в изолированном пространстве дражного разреза. По полученным снимкам выявлено, что воздух с наибольшей температурой концентрируется в верхней части ангара. Поэтому в дальнейшем будут рассмотрены способы равномерного распределения температуры в изолированном пространстве дражного разреза.

#### Список литературы

1. Золотодобывающая промышленность России: итоги 2015 года и прогноз развития отрасли до 2020 г. – URL: [http://www.miningworld.ru/ru-RU/images/files/1-Kashuba\\_Zolotodobyvaiushchaia-promyshlennost-Ros.aspx](http://www.miningworld.ru/ru-RU/images/files/1-Kashuba_Zolotodobyvaiushchaia-promyshlennost-Ros.aspx) (дата обращения: 24.05.2017).
2. Молочников Л.Н. Эксплуатация и ремонт оборудования гидромеханизации / Л.Н. Молочников, В.В. Ляшевич. – М.: Недра, 1982. – 198 с.
3. Ялтанец И.М. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Часть 3. Гидромеханизированные и подводные работы: Учебник для вузов / И.М. Ялтанец. – М.: Издательство «Мир горной книги», 2006. – 546 с.
4. Шорохов С.М. Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений / С.М. Шорохов. – М.: Недра, 1973. – 766 с.
5. Попов Ю.А. Гидромеханизация земляных работ в зимнее время / Ю.А. Попов, Д.В. Рошупкин. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1979. – 186 с.
6. Кисляков В.Е. Параметры изолирующей конструкции при дражной разработке в условиях отрицательных температур / В.Е. Кисляков, Р.З. Нафиков // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. Вып. 2. – 2016. – С. 95–101.
7. Кисляков В.Е. Способ продления дражного сезона / В.Е. Кисляков, Р.З. Нафиков // Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты, том II: сб. материалов международной научно-практической конференции. – Кемерово: Западно-Сибирский научный центр. – 2016. – С. 28–31.

#### References

1. Zolotodobyvajushhaja promyshlennost Rossii: itogi 2015 goda i prognoz razvitiya otrasli do 2020 g. URL: [http://www.miningworld.ru/ru-RU/images/files/1-Kashuba\\_Zolotodobyvaiushchaia-promyshlennost-Ros.aspx](http://www.miningworld.ru/ru-RU/images/files/1-Kashuba_Zolotodobyvaiushchaia-promyshlennost-Ros.aspx) (data obrashhenija: 24.05.2017).
2. Molochnikov L.N. Jekspluatacija i remont oborudovaniya gidromehanizacii / L.N. Molochnikov, V.V. Ljashevich. M.: Nedra, 1982. 198 p.
3. Jaltanec I.M. Tehnologija i kompleksnaja mehanizacija otkrytyh gornyh rabot. Chast 3. Gidromehanizirovannye i podvodnye raboty: Uchebnik dlja vuzov / I.M. Jaltanec. M.: Izdatel'stvo «Mir gornoj knigi», 2006. 546 p.
4. Shorohov S.M. Tehnologija i kompleksnaja mehanizacija razrabotki rossypnyh mestorozhdenij / S.M. Shorohov. M.: Nedra, 1973. 766 p.
5. Popov Ju.A. Gidromehanizacija zemljanyh rabot v zimnee vremja / Ju.A. Popov, D.V. Roshhupkin. L.: Strojizdat. Leningr. otd-nie, 1979. 186 p.
6. Kisljakov V.E. Parametry izolirujushhej konstrukcii pri drazhnoj razrabotke v uslovijah otricatelnyh temperatur / V.E. Kisljakov, R.Z. Nafikov // Izvestija Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. Vyp. 2. 2016. pp. 95–101.
7. Kisljakov V.E. Sposob prodlenija drazhnogo sezona / V.E. Kisljakov, R.Z. Nafikov // Fundamentalnye nauchnye issledovaniya: teoreticheskie i prakticheskie aspekty, tom II: sb. materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Kemerovo: Zapadno-Sibirskij nauchnyj centr. 2016. pp. 28–31.